

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

Offenlegungsschrift  
⑩ DE 42 41 527 A 1

②1 Aktenzeichen: P 42 41 527.6  
②2 Anmeldetag: 10. 12. 92  
④3 Offenlegungstag: 16. 6. 94

⑤1 Int. Cl. 5:  
C 21 D 1/09  
B 23 K 26/00  
H 05 B 7/00  
// B23K 26/12

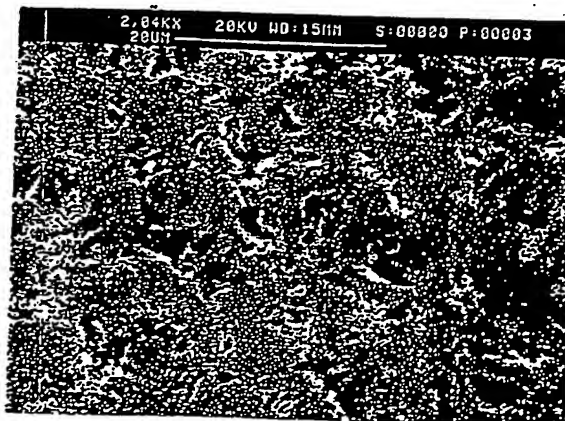
DE 42 41 527 A 1

⑦1 Anmelder:  
Adam Opel AG, 65428 Rüsselsheim, DE

⑦2 Erfinder:  
Barton, Georg, Dr.-Ing., 6090 Rüsselsheim, DE

⑤4 Verfahren zum Aufhärten und ggf. Glätten von Maschinenbauteilen sowie nach diesem Verfahren hergestellten Maschinenbauteilen

⑤7 Ein Verfahren zum Aufhärten und ggf. Glätten von Maschinenbauteilen mittels eines eine Oberflächenaufwärmung des jeweiligen Bauteils bewirkenden Strahls wie z. B. eines Laserstrahls, eines Elektronenstrahls oder eines Lichtbogens, zeichnet sich dadurch aus, daß das jeweilige Bauteil, welches entweder in Form eines Hartgußteils mit ledeburitischem Gefüge oder in Form eines Stahlteils mit perlitischem Gefüge vorliegt, mit einer hohen Energiedichte behandelt wird, wobei die Oberflächenschicht bis in die Nähe der Schmelztemperatur kurzzeitig entweder kontinuierlich oder durch mehrmalige Pulse erwärmt wird, so daß in einer Randschicht eine Diffusion des Kohlenstoffs aus den Zementitlamellen des Ledeburits bzw. des Perlits in die weichen zwischenlamellaren Ferritbereiche stattfindet.



DE 42 41 527 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
BUNDESDRUCKEREI 04. 94 408 024/121

12/37

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufhärten und ggf. Glätten von Maschinenbauteilen mittels eines eine Oberflächenaufwärmung des jeweiligen Bauteils bewirkenden Strahls, wie z. B. eines Laserstrahls, eines Elektronenstrahls oder des Strahles einer Lichtbogenlampe. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung Maschinenbauteile, welche nach dem Verfahren hergestellt bzw. behandelt werden.

Es sind im Stand der Technik verschiedene Verfahren mit Maschinenbauteilen, die mit Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen behandelt werden, bekannt, um bestimmte Eigenschaften an den Oberflächen der Bauteile zu erreichen.

Beispielsweise ist das sogenannte Laserumwandlungshärten bekannt. Hier wird im Grunde genommen ein Laser als energiereiche Wärmequelle zum Martensithärten verwendet, ohne dabei die Oberfläche der behandelten Bauteile zu schmelzen. Mit anderen Worten wird ein dem Induktionshärten ähnlicher Vorgang durchgeführt. Beispiele für solche Verfahren sind den US-PS'en 4 304 978, 4 093 842 und 4 686 349 sowie der deutschen Patentschrift 33 43 783 zu entnehmen.

Weiterhin gibt es das Verfahren des sogenannten Laserumschmelzhärtens. Hier wird mittels des Laserstrahls eine geschmolzene Schicht an der Oberfläche des Bauteils erzeugt, welche durch rasche Erstarrung zu einem harten ledeburitischen Gefüge führt. Beispiele für diese Verfahrensweise sind aus den deutschen Patentschriften 34 18 555 und 36 26 799 bekannt.

Eine weitere Verfahrenskategorie umfaßt das Laserschichteinschmelzen. Bei diesem Verfahren wird eine auf einem Substrat aufgetragene Graphitschicht in die Schicht eingeschmolzen. Beim Erstarren bzw. Abkühlen des Substrats bilden sich Karbide. Mit anderen Worten wird durch Einschmelzen des Graphits Kohlenstoff in die Schicht eingebracht, der im schmelzflüssigen Zustand sich auflöst, ein Mischkristall bildet und beim Abkühlen mit Atomen des Substrats Cr, W, V, Mn, Fe Karbide bildet, die in Form von körniger bzw. dendritischer Ausscheidungen vorliegen, beispielsweise TiC (wenn das Substrat ein Ti-Werkstoff ist) aus dem gelösten Graphit. Ein Beispiel für diese Verfahrensweise ist der DE-OS 35 45 128 zu entnehmen.

In allen diesen Fällen wird ein Hochleistungslaser, häufig ein CO<sub>2</sub>-Laser benutzt.

Aus der DE-OS 39 32 328 ist im übrigen ein Verfahren zur Bearbeitung von durch Reibung beanspruchten Flächen in Brennkraftmaschinen, insbesondere der Zylinderlaufflächen von Kolbenmotoren bekannt, wobei die Fläche gehont und zusätzlich einer Laserstrahlbehandlung unterzogen wird. Diese Laserstrahlbehandlung nach vorherigem Honen wird vorzugsweise durch einen gepulsten sogenannten Excimer-Laser durchgeführt, wobei diese Behandlung eine Oberflächenabdampfung von Mikroriefen bei Erhaltung der Makroriefen (ölfördernde Honriefen) ohne gewollte Umschmelzerscheinungen verursacht. Die DE-OS 39 32 398 erwähnt eine nicht gezielt erzeugte "Haut" im Nanometerbereich ( $< 1 \mu\text{m}$ ), d. h. in der Größenordnung von  $0,001 \mu\text{m}$ . Durch die extremen Abschreckraten ist sie meist übersättigt oder bereits schon amorph und deshalb eventuell hart.

Im Vergleich zu den bekannten Verfahren liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art vorzusehen, das das Aufhärten und vorzugsweise auch das gleichzeitige Mi-

kroglätten von Maschinenbauteilen, ermöglicht, welche entweder in Form eines Hartgußteils mit ledeburitischem Gefüge oder in Form eines Stahlteils mit perlitischem Gefüge vorliegen, wobei das Verfahren so durchgeführt wird, daß eine neuartige Gefügestruktur an der Oberfläche des Bauteiles erreicht wird, das nicht nur eine harte und vorzugsweise auch mikroglatte Oberfläche bietet, sondern auch keinerlei Nachbearbeitung erfordert, wobei aber eine eventuelle Nachbearbeitung für Sonderzwecke nicht ausgeschlossen ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß vorgesehen, daß das jeweilige Bauteil, das entweder in Form eines Teils, wie z. B. ein Hartgußteil mit ledeburitischem Gefüge oder in Form eines Stahlteils mit perlitischem Gefüge vorliegt, mit einer hohen Energiedichte behandelt wird, wobei die Oberflächenschicht bis in die Nähe der Schmelztemperatur kurzzeitig entweder kontinuierlich oder durch mehrmalige Pulse erwärmt wird, so daß in einer Randschicht eine Diffusion des Kohlenstoffs aus den Zementitlamellen des Ledeburits bzw. des Perlits in die weichen zwischenlamellaren Ferritbereiche stattfindet. Es erfolgt daher eine Erwärmung der Substratoberfläche mit ledeburitischem bzw. perlitischem Gefüge bis in die Nähe des Schmelzpunktes, wobei die Oberfläche zwar teigig werden kann, eine Veränderung der Oberflächengeometrie durch Schmelzen der Oberfläche jedoch nicht eintritt. Das Halten auf dieser Temperatur wird erfindungsgemäß so gewählt, daß es nicht zu einer vollständigen Auflösung vorhandener Phasenbestandteile bzw. zur Bildung eines homogenen Mischkristalls kommt.

Im Gegensatz zu den bekannten Laserumwandlungshärten, das eine martensitische Struktur an der Oberfläche des Maschinenbauteils erzeugt, wird durch die Erfindung durch gezielte Wahl der Leistungsdichte sowie der Zeitdauer der lokalen Aufwärmung eine nahezu geschlossene Zementitoberfläche anstelle des Perlits in Stahl und Perlitbereiche im Hartguß erzeugt. Die Wahl der Leistungsdichte und Zeitdauer der Behandlung wird weiterhin so getroffen, daß nach der lokalen Aufwärmung der Oberfläche eine Selbstabschreckung der Oberflächenschicht durch die Umgebungstemperatur und die innerhalb des Bauteils herrschenden Temperaturen eintritt, wobei eine Rückbildung in den ursprünglichen Phasenzustand nicht oder nur unvollständig erfolgt. Dies bedeutet, daß es bei einem perlitischem oder ledeburitischem Gefüge an der Oberfläche bzw. an der Oberflächenschicht zu einem Vermengen der Zementitsubstanz auf Kosten des stöchiometrischen Gefügeaufbaus kommt. Durch die Behandlung mit dem jeweiligen Arbeitsstrahl (Laser, Elektronenstrahl bzw. Lichtbogenlampe) wird das eine Gefügebestandteil lokal teigig bzw. es schmilzt, während die anderen Gefügebestandteile im festen Zustand verbleiben. Üblicherweise handelt es sich bei dem Gefügebestandteil, der lokal teigig wird bzw. schmilzt, um die Bereiche zwischen den großen Zementitlamellen und dem Perlit. Hier spielt das Eisen-Kohlenstoffzustandsdiagramm unter Berücksichtigung der Ungleichgewichtsverhältnisse eine entscheidende Rolle.

Die Behandlung soll so durchgeführt werden, d. h. vor allem so kurz dauern, daß sich in der Randschicht keine Homogene, z. B. austenitische Mischkristalle ausbilden können, wobei stets genügend Zementitkeime in der Randschicht und im Substrat vorhanden sein müssen, so daß beim Abschrecken (Selbstabschreckung oder evtl. mit Hilfe eines Kältestrahls) stets Zementit und nicht Restaustenit gebildet wird.

Die Behandlung läßt sich so durchführen, beispielsweise mit einer gepulsten Strahlenquelle hoher Energiedichte, wie z. B. mit einem Excimer-Laser, daß ein ausgeprägtes Abdampfen (Sublimation) und Schmelzen einer dünnen Oberflächenschicht erfolgt, was zu einem ausgeprägten Mikroglätten der Oberfläche führt.

Im allgemeinen ist es sinnvoll, vor der Behandlung mit dem Strahl hoher Energiedichte, das jeweilige Bauteil wenigstens an der zu behandelnden Oberfläche zu schleifen, wobei aber auch schalenhart gegossene Oberflächen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt werden können. Typische Anwendungsbeispiele für das vorliegende Verfahren sind die Erzeugung von harten und ggf. mikroglatten Oberflächen an Nockenwellen oder Schlepphebel von Verbrennungsmotoren.

Typische Werte für die verwendete Energiedichte liegen im Bereich von  $2 \times 10^3$  bis  $5 \times 10^5$  W/cm<sup>2</sup>.

Angaben zu typischen Belichtungszeiten bzw. Behandlungszeiten für die einzelnen Stellen der Oberfläche sind den weiteren Unteransprüchen bzw. den Beispielen zu entnehmen. Die Erfindung schafft daher eine berührungslose, sehr schnelle Methode zum gleichzeitigen Glätten und Aufhärten von heterogenen Verschleißoberflächen metallischer Werkstoffe. Weiterhin ermöglicht es die Erfindung das Mikroglätten geschliffener Verschleißoberflächen mit dem Aufhärten durch Zementitvermischung an gegossenen Hartgußteilen mit ledeburitischem bzw. Stahl mit perlitischem Gefüge in einer Operation zu vereinigen. Durch die Bildung von nahezu kompakten geschlossenen Zementitoberflächen anstelle des Perlits im Stahl und Perlitbereichen im Hartguß, wird besonders die adhäsive Verschleißbeständigkeit stark verbessert. Die Erfindung weist auch folgende Vorteile auf:

- sie ersetzt das mechanische Mikroglätten (Mikrofinishen) von Verschleißoberflächen auf Nockenwellen und Schlepphebeln,
- sie verringert den Einlaufverschleiß,
- die Behandlung dauert sehr kurz, typischerweise bis zu einer halben Minute pro Nockenwelle,
- die Methode läßt sich sehr gut in die Produktionslinie einfügen.

Durch die Erfindung werden Maschinenbauteile, die entweder in Form eines Hartgußteils mit ledeburitischem Gefüge oder in Form eines Stahlteils mit perlitischem Gefüge vorliegen, geschaffen mit dem besonderen Kennzeichen, daß eine nahezu geschlossene Zementitoberfläche vorliegt, wobei das Bauteil eine Oberflächenhärte oberhalb von 900 HV, vorzugsweise etwa 1100 HV aufweist und die Zementitausscheidungsichte in den zwischenlamellaren Bereichen von der Oberfläche in Richtung Matrix kontinuierlich abnimmt. Das Bauteil kann beispielsweise eine Nockenwelle oder ein Schlepphebel sein, es sind aber natürlich auch viele andere denkbare Maschinenbauteile, welche erfindungsgemäß behandelt werden können.

Schließlich soll zum Ausdruck gebracht werden, daß die Behandlung grundsätzlich in der Luft durchführbar ist, wenigstens mit einem Laserstrahl oder mit einer Lichtbogenlampe, da Oxidationsvorgänge nicht oder nicht im ausgeprägten Maße zu befürchten sind. Es kann unter Umständen nützlich sein, die Behandlung mit der gewählten Strahlart in einer ausgewählten Gasatmosphäre durchzuführen, um spezielle Effekte zu erreichen. Beispielsweise könnte die Behandlung in einer stickstoffhaltigen oder CO<sub>2</sub>-haltigen Atmosphäre

durchgeführt werden, wenn ein Nitrieren oder Aufkohlen der Oberfläche des Werkstücks zusätzlich erwünscht ist.

Die Erfindung wird nachfolgend näher erläutert, anhand von vier elektronenmikroskopischen Abbildungen und drei Ausführungsbeispielen.

Die rasterelektronenmikroskopischen Abbildungen zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf eine umgeschmolzene Lauffläche einer Gußeisennockenwelle vor Anwendung der erfindungsgemäßen Behandlung (2580 mal vergrößert),

Fig. 2 die Oberfläche nach Fig. 1, jedoch nach zusätzlicher erfindungsgemäßer Behandlung mit einem Excimer-Laser (2040 mal vergrößert),

Fig. 3 eine Draufsicht auf ein eutektoidales Gefüge eines unbehandelten Stahls mit 0,8%C (1010 mal vergrößert und geätzt),

Fig. 4 das Gefüge aus Fig. 3 nach erfindungsgemäßer Laserbehandlung mit Schliff senkrecht zur behandelten Oberfläche bei 40000-facher Vergrößerung und geätzt.

Wie bereits oben erläutert, befaßt sich die Erfindung mit der Oberflächenbehandlung von Maschinenbauteilen mit heterogenem (über-, unter- oder eutektischem) Gußgefüge, so wie in Fig. 1 dargestellt, bzw. mit über-, unter- oder eutektoidalem Stahlgefüge, so wie in Fig. 3 dargestellt.

Die rasterelektronenmikroskopische Draufsicht der Fig. 1 zeigt eine WIG-umgeschmolzene Lauffläche einer Gußeisennockenwelle mit einem untereutektischem Gefüge aus Zementitlamellen und feinem Perlit. Das WIG-Umschmelzverfahren stellt eine mögliche, jedoch nicht zwingend erforderliche Vorbehandlung dar. In Fig. 1 sind die Zementitlamellen die großflächigen Inseln, während die Perlitbereiche die filigrane Struktur aufweisen. Ein qualitativ ähnliches Gefüge liefert auch Schalenhartguß.

Nach zusätzlicher Behandlung der Oberfläche mit einem Excimer-Laser mit einer Pulsleistungsdichte von beispielsweise 40 mJ/mm<sup>2</sup>, 2 Pulse, Pulsdauer 40 ns entsteht eine Oberflächenstruktur nach Fig. 2. Aus den Gefügebestandteilen wie im Fig. 1, d. h. aus den Zementitlamellen und feinem Perlit hat sich eine nahezu geschlossene Schicht eines nichtstöchiometrischen Zementits in der Randschicht gebildet. Charakteristisch für diese Behandlung ist, daß die Oberflächenschicht bis in die Nähe der Schmelztemperatur kurzzeitig (kontinuierlich oder durch mehrmalige Pulse) erwärmt wird, so daß in der Randschicht eine Diffusion des Kohlenstoffs aus den Zementitlamellen des Ledeburits in die weichen zwischenlamellaren Ferritbereiche stattfindet. Die Haltezeit auf dieser Temperatur wird so gewählt, daß es nicht zu einer vollständigen Auflösung vorhandener Phasenbestandteile und Bildung eines homogenen Mischkristalls kommt. Durch die darauffolgende Selbstabschreckung der Oberflächenschicht kann eine Rückbildung in den ursprünglichen Phasenzustand nicht oder nur unvollständig erfolgen. Es entsteht daher ein Ungleichgewichtszementit mit einem höheren Volumen als das ursprüngliche. Bei einem perlitischen Gefüge kommt es zu einem "Vermengen" der Zementitsubstanz, wie aus Fig. 2 klar ersichtlich, auf Kosten des stöchiometrischen Gefügeaufbaus, verbunden mit dem Effekt einer Aufhärtung der Oberflächenschicht bis auf 1100 HV.

Die Fig. 3 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines eutektoidalen Gefüges eines Stahls mit ungefähr 0,8%C. Man sieht Ferrit als dunkle Teile der Matrix und Zementit als helle Teile der Matrix in lamel-

larer Anordnung. Nach Behandlung mit dem Excimer-Laser, wie für die Gußeisenprobe der Fig. 1, entsteht ein Gefügebau in der Randschicht, wie in Fig. 4 dargestellt. Die ursprünglichen Zementitlamellen, welche als hellere Kerne weiterhin sichtbar sind, haben sich in einer Randschicht von ungefähr 2 µm Tiefe "vermengt". Nahezu die ganze Randschicht besteht aus einem vermutlich nicht gleichgewichtigen, teils körnig ausgeschiedenem Zementit. Auch hier hat die kurzzeitige Erwärmung der Oberflächenschicht bis in die Nähe der Schmelztemperatur (kontinuierlich oder durch mehrmalige Pulse des Lasers) in einer Randschicht eine Diffusion des Kohlenstoffs aus den Zementitlamellen des Perlits in die weichen zwischenlamellaren Ferritbereiche bewirkt.

Die erreichte Temperatur in der Nähe der Schmelztemperatur muß so gewählt werden, daß es nicht zu einer vollständigen Auflösung vorhandener Phasenbestandteile und Bildung eines homogenen Mischkristalls kommt. Auch hier verhindert die der Wärmebehandlung folgende Selbstabschreckung der Oberflächenschicht eine Rückbildung in den ursprünglichen Phasenzustand. Ebenso entsteht in diesem Beispiel ein Ungleichgewicht Zementit mit einem höheren Volumen als das ursprüngliche.

Sowohl bei dem perlitischen als auch bei dem ledeburitischem Gefüge kommt es daher zu einem "Vermengen" der Zementitsubstanz auf Kosten des stöchiometrischen Gefügebau, verbunden mit dem Effekt einer Aufhärtung der Oberflächenschicht bis auf 1100 HV. Im günstigsten Fall wird es bei beiden Metallsorten auf der behandelten Oberfläche zur Ausbildung einer sogar geschlossenen nichtstöchiometrischen Zementitschicht kommen, die eine erhebliche Verbesserung der abrasiven und besonders der adhäsiven Verschleißbeständigkeit in der Einlaufphase und im weiteren Betrieb zur Folge hat.

Von Bedeutung bei beiden Metallsorten ist auch, daß das lokale Teigigwerden bzw. Schmelzen der einen, bei gleichzeitigem Verbleiben der anderen Gefügebestandteile im festen Zustand möglich ist, so daß die primären Werkstückoberflächen auch nach der Behandlung formtreu erhalten bleiben, wenn von geringer Oberflächen-glättung infolge Abdampfen einer Oberflächenschicht abgesehen wird. Da die Behandlung nur so kurz dauert, daß sich in der Randschicht kein homogener, z. B. austenitischer Mischkristall ausbilden kann, sind stets genügend Zementitkeime in der Randschicht und im Substrat vorhanden, das beim Abschrecken abermals stets Zementit und nicht Restaustenit gebildet wird. Wird die Randschicht mit einer gepulsten strahlenquelle, vorzugsweise mit einem Excimer-Laser behandelt, so wird zusätzlich ein starkes Abdampfen (Sublimation) und Schmelzen einer dünnen Oberflächenhaut stattfinden. Infolge des Verdampfens sowie der Oberflächenspannung der geschmolzenen Oberflächenhaut wird in diesem Fall ein zusätzliches Mikroglätten (Entfernen der Schleifriefen, Verschrumpungen und des Blechmantels) stattfinden. Bei entsprechender Einstellung der Laserparameter wird ein gleichzeitiges Glätten der Oberfläche und "Vermengen" des Zementits bis zur Ausbildung einer geschlossenen Schicht stattfinden.

Die Erfindung beschreibt daher eine Methode der berührungslosen Erzeugung von dünnen Verschleißschichten, hauptsächlich durch "Vermengung" der Zementitoberfläche. Dabei wird auch eine Verbesserung der Pitting- und Ermüdungsbeständigkeit erreicht. Die Erfindung beinhaltet gleichzeitig eine Glättung der

Oberfläche. Diese Behandlung kann das mechanische Mikrofinishen erfolgreich ersetzen. Der Einlaufverschleiß wird durch das Glätten stark reduziert. Das Verfahren hat auch den besonderen Vorteil, daß es sich ohne weiteres in bestehenden Produktionslinien ohne großen Aufwand integrieren läßt.

Um die praktische Ausübung der Erfindung näher darzustellen, werden nun einige konkrete Ausführungsbeispiele beschrieben:

#### Beispiel 1

Die geschliffene ledeburitische Nockenoberfläche einer Nockenwelle (NW) wird mit einem CO<sub>2</sub>-Laser im CW-Betrieb (Kontinuierlicher, nicht gepulster Laserstrahl) mit einem rechteckigen Strahlquerschnitt der Größe 2 × 10 bzw. 1 × 20 mm<sup>2</sup> durch Rotation der Nockenwelle unter dem Laserstrahl behandelt. Die Breite von ca. 10 bzw. 20 mm entspricht der Nockenbreite einer NW mit 4- bzw. 2-Ventiltechnik. Die Oberflächentemperatur im Bereich Liquidus-Solidus von 1150 bis 1250°C (teigiger Zustand der Oberflächenschicht) wird mit bekannten von line Temperaturmeßsystemen überwacht.

Die Leistungsdichte beträgt 5 × 10<sup>3</sup> bis 10<sup>5</sup> W/cm<sup>2</sup>. Bei genannter Strahlquerschnittgröße wird eine Laserleistung von 5 bis 8 kW benötigt. Die Rotationsgeschwindigkeit der Nockenwelle wird aus der Verweilzeit des Laserstrahls auf der Nockenoberfläche bestimmt. Für eine Karbidschichtdicke von 3 bis 10 µm wird eine Verweilzeit (Belichtungszeit) von 0,3 bis 10 s benötigt. Wird die Behandlung im Pulsbetrieb mit einem CO<sub>2</sub>- bzw. Nd: YAG-Laser durchgeführt, so werden mindestens um 20% geringere mittlere Leistungsdichten benötigt.

#### Beispiel 2

Die ledeburitische Nockenlauffläche eines schalenhartguß- bzw. randschichtumschmolzenen (WIG; Laser; Elektronenstrahl) Schlepphebels wird zwecks Ausbildung einer dünnen, jedoch nahezu dichten karbidischen Verschleißschicht mit dem Elektronenstrahl behandelt. Der E-Strahl mit 0,1 bis 0,5 mm Strahldurchmesser rastert die gesamte Nockenlauffläche auf bekannter Weise ein oder mehrmals ab. Bei mehrmaligen Abrastern der Oberfläche wird ebenfalls eine nahezu konstante, mittlere Temperatur der Oberfläche, die über den Liquidus nicht hinaussteigt, erhalten bleiben. Beispielsweise wird eine Ablenkungsfrequenz des E-Strahles von 100 bis 500 Hz in der Y-Achse und eine Vorschubgeschwindigkeit des Schlepphebels in X-Achse von 5 bis 60 mm/s angewandt, abhängig davon, ob eine Vorwärmung des Schlepphebels vorher stattgefunden hat oder nicht. Die im Beispiel benötigte Leistung der Elektronenstrahlkanone betrug 3 kW (60 V, 50 A).

Der Vorteil des Elektronenstrahls liegt in diesem Fall in der hohen Führungsgenauigkeit und Ablenkbarkeit sowie in der lokalen Wiederholbarkeit der Behandlung. Dadurch können ohne speziellen Aufwand je nach Bedarf auf einer Oberfläche Karbidschichten unterschiedlicher Dicke erzeugt werden (maßgeschneiderte Schichtdicken).

#### Beispiel 3

Zur Erzeugung einer dünnen Karbidschicht auf Stahloberflächen mit perlitisch bzw. perlitisch-ferritischem

Gefüge werden Oberflächentemperaturen von 1250 bis 1450°C benötigt. Bei einem CO<sub>2</sub>-Laser im CW-Betrieb (Kontinuierlicher Strahl) wird mit einer Laserleistungsdichte im Bereich  $2 \times 10^4$  bis  $5 \times 10^5$  W/cm<sup>2</sup> und im Pulsbetrieb mit einer mittleren Leistungsdichte die mindestens 20% geringer ist, gearbeitet.

Die Strahleinwirkungszeit ist vergleichbar mit der, die für ein ledeburitisches Gefüge benötigt wird (Beispiel 1). Zwar liegt hier die Liquidus-Solidus-Temperatur höher, jedoch ist auch die Diffusionsgeschwindigkeit entsprechend der Temperatur höher.

Charakteristisch für die Karbidschicht der vorliegenden Erfindung ist, daß diese auf vorhandenen verschleißfesten Ledeburit bzw. Perlit erzeugt wird, die Verschleißbeständigkeit verbessert wird und daß die Zementitausscheidungsichte in den zwischenlamellaren Bereichen stets von der Oberfläche in Richtung Matrix abnimmt.

Durch die oben gemachten Beispiele und die dort genannten Parameterwerte werden die Unterschiede zu den in der US-PS 4 304 978 verwendeten Parameterwerten klar, d. h. es liegt nicht nur ein unterschiedliches Bestreben vor (wie eingangs genannt, befaßt sich die US-PS mit Umwandlungshärten, das durch Martensitbildung erreicht werden), sondern führen auch die in der US-PS 4 304 978 genannten Parameterwerte nicht zufällig zu der in der vorliegenden Anmeldung angestrebten Zementitvermischung.

Die in der US-PS 4 304 978 beschriebene Leistungsdichte von 1550 bis 2480 W/cm<sup>2</sup> steht dem Wert von 5000 bis 500 000 W/cm<sup>2</sup> nach der vorliegenden Erfindung gegenüber. Auch die in der US-PS genannten Belichtungszeiten von 0,017 bis 0,026 s sind mit den in der vorliegenden Anmeldung genannten Werten von 0,1 bis 10 s nicht vergleichbar.

Werden die Parameter des gepulsten Excimer-Lasers in Betracht gezogen, liegen bei der vorliegenden Erfindung wesentlich kürzere Belichtungszeiten von 4 Pulse  $\times 40$  ns = 160 ns = 0,0000016 s vor. Auch die mittlere Leistungsdichte, beispielsweise bei einem Nd:YAG-Laser liegt bei einem Strahlquerschnitt von  $0,5 \times 0,5$  cm<sup>2</sup> und einer mittleren Leistung von 500 W in der Größenordnung von 20 000 W/cm<sup>2</sup> und daher in einem gänzlich anderen Bereich als in der US-PS 4 304 978 angegeben.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufhärten und ggf. Glätten von Maschinenbauteilen mittels eines eine Oberflächenaufwärmung des jeweiligen Bauteils bewirkenden Strahls wie z. B. eines Laserstrahls, eines Elektronenstrahls oder eines Lichtbogens, dadurch gekennzeichnet, daß das jeweilige Bauteil, welches entweder in Form eines Hartgußteils mit ledeburitischem Gefüge oder in Form eines Stahlteils mit perlitischem Gefüge vorliegt mit einer hohen Energiedichte behandelt wird, wobei die Oberflächenschicht bis in die Nähe der Schmelztemperatur kurzzeitig entweder kontinuierlich oder durch mehrmalige Pulse erwärmt wird, so daß in einer Randschicht eine Diffusion des Kohlenstoffs aus den Zementitlamellen des Ledeburits bzw. des Perlits in die weichen zwischenlamellaren Ferritbereiche stattfindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Haltezeit auf der Temperatur in der Nähe der Schmelztemperatur so gewählt wird, daß es nicht zu einer vollständigen Auflösung vor-

handener Phasenbestandteile kommt.  
 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsdichte und die Zeitdauer der lokalen Aufwärmung so gewählt wird, daß eine nahezu geschlossene Zementitoberfläche anstelle des Perlits im Stahl und Perlitbereiche im Hartguß entsteht.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsdichte und Zeitdauer der Behandlung so gewählt sind, daß nach der lokalen Aufwärmung der Oberfläche durch die Umgebungstemperatur und die innerhalb des Bauteils herrschende Temperatur eine Selbstabschreckung der Oberflächenschicht eintritt, wobei eine Rückbildung in den ursprünglichen Phasenzustand nicht oder nur unvollständig erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsdichte und Zeitdauer der Behandlung so gewählt wird, daß es bei perlitischen und ledeburitischen Gefügen an der Oberfläche bzw. in der oberflächennahen Schicht zu einem Vermengen der Zementitsubstanz auf Kosten des stöchiometrischen Gefügebauaufbaus kommt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Behandlung das eine Gefügebestandteil lokal teigig wird bzw. schmilzt, während die anderen Gefügebestandteile im festen Zustand verbleiben.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Behandlung so kurz gewählt wird, daß in der Randschicht kein homogener, z. B. austenitischer Mischkristall ausgebildet werden kann, wobei stets genügend Zementitkeime in der Randschicht und im Substrat vorhanden sind, so daß beim Abschrecken abermals stets Zementit und nicht Restaustenit gebildet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Behandlung mit einer gepulsten Strahlenquelle hoher Energiedichte wie z. B. mit einem Excimerlaser erfolgt, um zusätzlich ein ausgeprägtes Abdampfen (Sublimation) und Schmelzen einer dünnen Oberflächenschicht zu verursachen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Behandlung mit dem Strahl hoher Leistungsdichte das jeweilige Bauteil wenigstens an der zu behandelnden Oberfläche geschliffen oder schalenhart gegossen wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es an Nockenwellen oder Schlepphebeln durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsdichte vorzugsweise im Bereich  $5 \times 10^3$  bis  $5 \times 10^5$  W/cm<sup>2</sup> liegt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Behandlung einer Nockenwelle mit einer ledeburitischen Nockenoberfläche, dadurch gekennzeichnet, daß die Behandlung mit einem CO<sub>2</sub>-Laser im CW-Betrieb (kontinuierlicher, nicht gepulster Laserstrahl) mit einem rechteckigen Strahlquerschnitt mit einer Größe im Bereich 3 mm  $\times$  5 mm bis 25 mm  $\times$  10 mm, vorzugsweise 2 mm

9  $\times 10$  mm bis 1 mm  $\times 20$  mm durchgeführt wird, wobei die Nockenwelle während der Behandlung gedreht wird, wobei die Verweilzeit (Belichtungszeit) an jeder Stelle der behandelten Oberfläche im Bereich zwischen 0,3 bis 10 Sek. liegt, um eine Karbidschichtdicke von 3 bis 10  $\mu$ m zu erreichen. 5  
 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserleistung im Bereich von 4 bis 12 kW liegt.  
 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach dem Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächentemperatur im Bereich des Liquidus-Solidus von 1150 bis 1250°C (teilweise teigiger Zustand der Oberflächenstruktur) gehalten und vorzugsweise mittels eines Temperaturmeßsystems überwacht wird. 10  
 15. Verfahren nach Anspruch 13 bzw. nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Behandlung anstatt im CW-Betrieb im Pulsbetrieb durchgeführt wird, wobei entweder ein CO<sub>2</sub>-Laser oder ein Nd:YAG-Laser verwendet wird, wobei die mittlere Leistungsdichte um mindestens 20% niedriger liegt als beim CW-Betrieb. 20  
 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11 zur Behandlung einer ledeburitischen Nockenlauffläche eines schalenhartguß- bzw. randschichtumschmolzenen Schlepphebels mittels eines Elektronenstrahls, wobei der Elektronenstrahl einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser von 0,1 bis 0,8 mm aufweist, der die gesamte Nockenlauffläche rasterförmig einmal oder mehrmals abtastet und eine nahezu konstante mittlere Temperatur der Oberfläche erzeugt, die nicht über den Liquidus hinaussteigt. 25  
 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 zur Behandlung einer ledeburitischen Nockenlauffläche eines schalenhartguß- bzw. eines randschichtumschmolzenen Schlepphebels mittels eines Elektronenstrahls, wobei der Elektronenstrahl einen nahezu rechteckigen Querschnitt aufweist, der die gesamte Nockenlaufflächenbreite bzw. Gleitlagerflächenbreite umfaßt und in Umfangsrichtung die Oberfläche kontinuierlich, bzw. mehrfach schwenkend belichtet und so eine nahezu konstante mittlere Temperatur der Oberfläche erzeugt, die nicht über den Liquidus hinausgeht bzw. ihn nur in Teilbereichen örtlich begrenzt oder unwesentlich übersteigt. 30  
 18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenstrahlkanone eine Leistung von etwa 3 kW aufweist, beispielsweise 50 A bei 60 V. 35  
 19. Verfahren nach Anspruch 16, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß bei Ausrichtung des Elektronenstrahls in der Z-Achse der Strahl in einer hierzu im wesentlichen senkrechten Richtung, bspw. in Richtung der Y- oder X-Achse mit einer Ablenkungsfrequenz von 100 bis 500 Hz über die Breite oder Länge der Nockenlauffläche des Schlepphebels abgelenkt wird, wobei die Nockenlauffläche in der jeweils anderen X- oder Y-Achsrichtung oder schräg hierzu mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 5 bis 60 mm/sec vorgeschoben wird, je nachdem, ob eine Vorwärmung des Schlepphebels vorher stattgefunden hat. 40  
 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung von dünnen Karbidschichten auf Stahloberflächen mit 45

perlitisch bzw. perlitisches Gefüge die Oberfläche zu einer Temperatur im Bereich von 1250° bis 1450°C erwärmt wird, welche bei einem CO<sub>2</sub>-Laser im CW-Betrieb (kontinuierlicher Strahl) eine Laserleistungsdichte im Bereich von  $5 \times 10^3$  bis  $5 \times 10^5$  W/cm<sup>2</sup> und im Pulsbetrieb eine mittlere Leistungsdichte, die um etwa 20% geringer ist, erzeugt wird, wobei die Strahleinwirkungszeit, d.h. Verweilzeit jeder Stelle der behandelten Oberfläche 0,1 bis 10 s beträgt.  
 21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zementitausscheidungsichte in den zwischenlamellaren Bereichen kontinuierlich von der Oberfläche in Richtung Matrix abnimmt.  
 22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Behandlung mit dem Strahl in einer Gasatmosphäre durchgeführt wird, bspw. in einer Gasatmosphäre, welche Stickstoff oder CO<sub>2</sub> enthält.  
 23. Maschinenbauteil, das entweder in Form eines Hartgußteils mit ledeburitischem Gefüge oder in Form eines Stahlteils mit perlitischem Gefüge vorliegt, insbesondere nach einem der vorgehenden Verfahren behandelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einem Oberflächenbereich eine nahezu geschlossene Zementitoberfläche, anstelle des Perlits im Stahl und Perlitbereiche im Hartguß vorliegt und eine Oberflächenhärte oberhalb von 900 HV, vorzugsweise etwa 1100 HV aufweist, wobei die Zementitausscheidungsichte in den zwischenlamellaren Bereichen von der Oberfläche in Richtung Matrix vorzugsweise kontinuierlich abnimmt.  
 24. Maschinenbauteil nach Anspruch 23 in Form einer Nockenwelle.  
 25. Maschinenbauteil nach Anspruch 23 in Form eines Schlepphebels.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

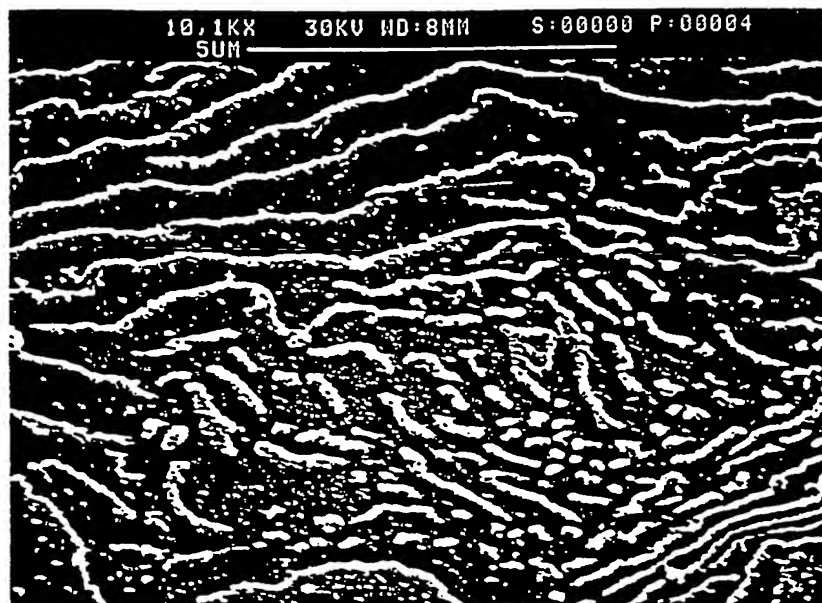


Fig. 1

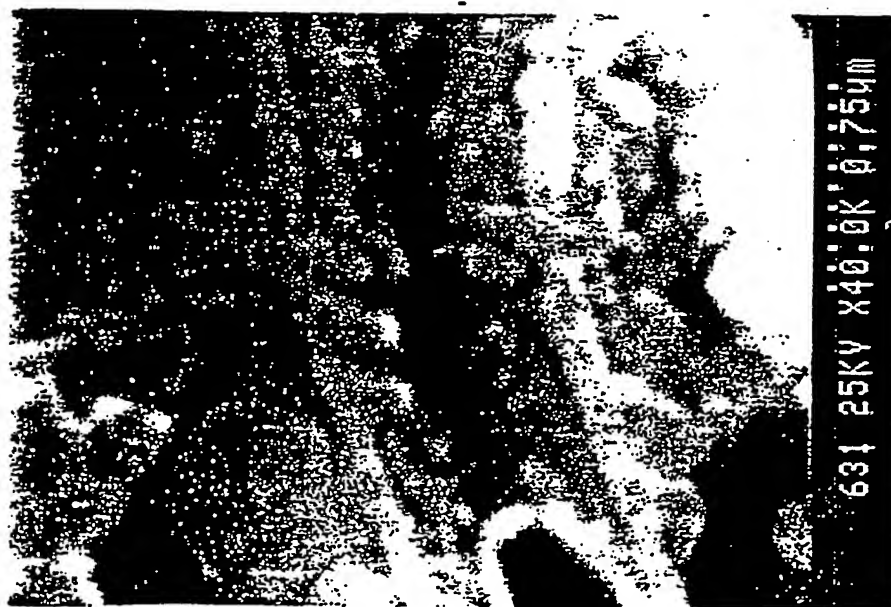


Fig. 2

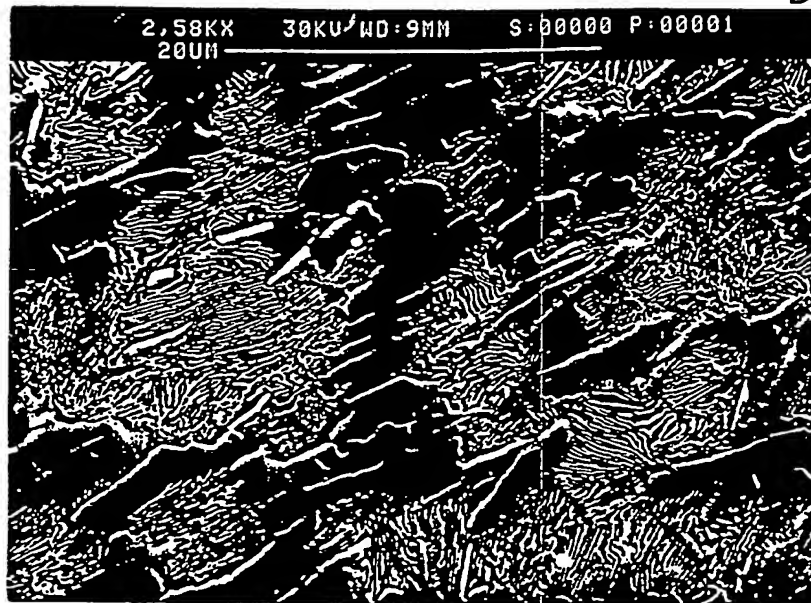


Fig. 3

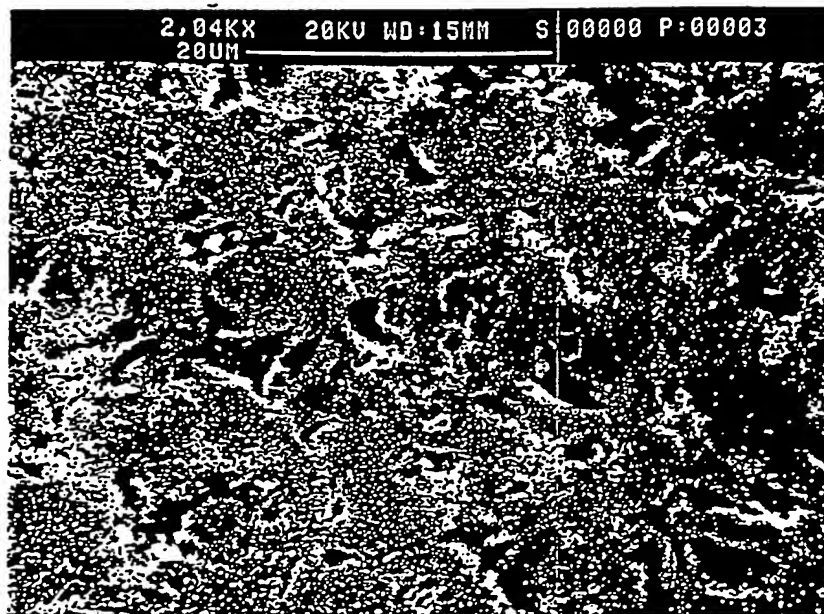


Fig. 4